

сепаратора для каждой реакции, измерена дисперсия дипольных магнитов, вычислена потеря энергии пучка тяжёлых ионов и остатка испарения при прохождении через сепаратор.

Список публикаций:

[1] Yu. Ts. Oganessian and V. K. Utyonkov, *Rep. Prog. Phys.* 78, 036301 (2015).

[2] Yu. Ts. Oganessian and V. K. Utyonkov, *Nucl. Phys. A* 944, 62 (2015).

[3] G. G. Gulbekian, S. N. Dmitriev, Yu. Ts. Oganessian, B. N. Gikal, I. V. Kalagin, S. L. Bogomolov, I. A. Ivanenko, N. Yu. Kazarinov, "Status of the DC-280 cyclotron project," in *Proceedings of the 21st International Conference on Cyclotrons and their Applications*, Zurich, Switzerland, pp. 278–280 (2016)

Трансмутация радиоактивных отходов в ускорителях заряженных частиц

Пономарев Арсений Владимирович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Чертков Юрий Борисович, к.ф.-м.н.

windmill2013@yandex.ru

Основная идея ускорителей состоит в следующем: урановая (ториевая, плутониевая и т. п.) мишень облучается пучком сильно разогнанных протонов. Сталкиваясь с ядром мишени, протон выбивает из него несколько очень быстрых протонов и нейтронов, которые в свою очередь выбивают частицы из других ядер урана. Образуется каскад, лавина постепенно замедляющихся частиц. Замедлившиеся частицы уже не расщепляют ядра, а захватываются ими, превращая уран в плутоний, который интенсивно делится, выделяя большое количество тепла и испуская много новых нейтронов. Выход тепла может в сотню и более раз превосходить затраты энергии на ускорение первичных протонов.

Очень важно, что в отличие от обычного атомного реактора в такой «электроядерной системе» нет самоподдерживающейся цепной реакции. Все зависит от «подсветки» ускорителя – выключается ток и процесс немедленно прекращается. Никакой опасности взрыва. Более того, если к урановой, ториевой или плутониевой мишени примешаны другие ядра, например, осколки деления, то расчет и выполненные эксперименты показывают, что под действием интенсивного потока нейтронов они превращаются в стабильные ядра или в изотопы с более коротким временем жизни.

Например, радиоактивный изотоп технеция Tc^{99} , в больших количествах образующийся в реакторах АЭС (его мировая наработка составляет 6 т/год), поглотив нейтрон, превращается в стабильный изотоп рутения. Долгоживущие трансураны, захватывая нейтрон, распадаются на более легкие ядра с меньшим временем жизни. Происходит трансмутация – пережигание ядерных отходов.

Схематично электроядерная установка выглядит следующим образом (рис.1).

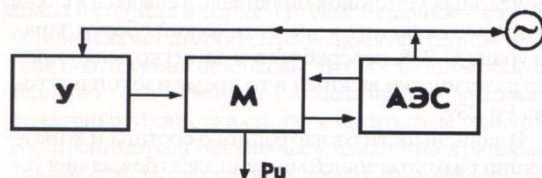


рис.1. Принципиальная схема электроядерной установки

Ускоритель (У) бомбардирует пучком протонов мишень-реактор (М). Горячий теплоноситель питает парогенераторы АЭС и, охлажденный, возвращается к мишени. Вырабатываемая энергия питает ускоритель и подается в сеть. Нарбатываемый в мишени плутоний и образующиеся там радиоактивные отходы в зависимости от типа установки выгружаются, либо пережигаются в самой мишени. В мишень периодически добавляется новая порция урана, а через определенное количество лет из нее удаляются накопившиеся стабильные и очень быстро распадающиеся ядра. Последние экономичнее не перерабатывать в мишени, а подождать их распада в простом и дешевом «могильнике».

Электроядерная мишень-реактор мало отличается от реакторов АЭС. Различие состоит лишь в дополнительной центральной вставке, которую бомбардирует пучок протонов. В ней выделяется очень много тепла за счет ионизационных процессов и она должна быть изготовлена из плавящегося под действием протонов металла, лучше всего из свинца. В качестве теплоносителя тоже должен быть использован жидкий металл – использующийся для охлаждения реакторов АЭС натрий или более безопасная в эксплуатации и слабо поглощающая нейтроны смесь свинца с висмутом. Такой теплоноситель используется на атомных подводных лодках.

Список публикаций:

[1] Скачек М.А. *Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС* / М.А. Скачек. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2007. – 448 с.

[2] Курындина А.В. *О транспортировании отработавшего ядерного топлива реакторов типа ВВЭР* / А.В. Курындина, А.А. Строганов, Л.А. Курындина // *Ядерная и радиационная безопасность*. – 2009. – № 2. – С. 16-23.

[3] В.С. Барашенков, «Электроядерная технология трансмутации радиоактивных отходов и производства тепловой и электрической энергии». *Георесурсы* – 2000, С. 44-46.